

Helsinki 27.1.2004

REC'D 09 FEB 2004

WIPO

PCT

ETUOIKEUSTODISTUS  
PRIORITY DOCUMENT



Hakija  
Applicant

Metso Paper, Inc.  
Helsinki

Patenttihakemus nro  
Patent application no

20022023

Tekemispäivä  
Filing date

13.11.2002

Kansainvälinen luokka  
International class

B65H

Keksinnön nimitys  
Title of invention

"Menetelmä kiinnirullalaimen ohjaamiseksi"

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

Täten todistetaan, että oheiset asiakirjat ovat tarkkoja jäljennöksiä Patentti- ja rekisterihallitukselle alkuaan annetuista selityksestä, patenttivaatimuksista, tiivistelmästä ja piirustuksista.

This is to certify that the annexed documents are true copies of the description, claims, abstract and drawings originally filed with the Finnish Patent Office.

*Marketta Tehikoski*  
Marketta Tehikoski  
Apulaistarkastaja

Maksu 50 €  
Fee 50 EUR

Maksu perustuu kauppa- ja teollisuusministeriön antamaan asetukseen 1027/2001 Patentti- ja rekisterihallituksen maksullisista suoritteista muutoksineen.

The fee is based on the Decree with amendments of the Ministry of Trade and Industry No. 1027/2001 concerning the chargeable services of the National Board of Patents and Registration of Finland.

Osoite: Arkadiankatu 6 A Puhelin: 09 6939 500 Telefax: 09 6939 5328  
P.O.Box 1160 Telephone: + 358 9 6939 500 Telefax: + 358 9 6939 5328  
FIN-00101 Helsinki, FINLAND

Menetelmä kiinnirullaimen ohjaamiseksi  
Förfarande för att styra en rullstol

5

Keksinnön kohteena on patenttivaatimuksen 1 johdanto-osan mukainen menetelmä.

10 Tekniikan tasosta tunnetuissa kiinnirullaimissa käynnistettäessä uusien leikkureiden kiinnirullaimia tai aloitettaessa uusien paperilajien kiinnirullaus jo käytössä olevilla leikkureilla rullan rakennetta ohjaavat ns. rullausparametrit; nippikuorma, rainan ki-  
reys ennen kiinnirullainta sekä rullausvoima, jotka tunnetuissa sovelluksissa asetetaan  
kokemusperäisesti rullan halkaisijan funktiona nk. rullausresepteiksi. Alkuarvaukset  
15 rullausresepteille ovat yleensä peräisin muilta leikkureilta, joilla on ajettu samaa tai samankaltaista paperilajia. Saman lajinimikkeen omaavien paperilajien ominaisuuksi-  
en suuresta paperikonekohtaisesta vaihtelusta johtuen joudutaan aina kuitenkin tur-  
vautumaan tapauskohtaisiin koeajoihin rullausreseptin määrittämiseksi. Jokaiselle  
paperilajille ja rullan loppuhalkaisijalle tehdään yleensä omat rullausreseptit.

20 Tekniikan tasosta tunnetuissa sovelluksissa kiinnirullaimilta valmistuneiden rullien laatu määritetään pääosin silmämääräisesti. Useimmilla leikkureilla rullille tehdään myös satunnaisia mittauksia, tavallisemmin mitataan rullan kovuus jollain käsikäyt-  
töisellä rullan kovuusmittarilla.

25 Tekniikan tasosta on myös tunnettua varustaa leikkurit pintatiheydenlaskennalla ja -näytöllä. Näissä tunnetuissa sovelluksissa mielivaltaista rullan halkaisijaa vastaava pintatiheyden arvo on laskettu rullan pinnalta paperin paksuuteen syntyneestä muu-  
toksesta.

Tekniikan tasosta tunnetaan sovelluksia, joissa rullan sisäisiä jännityksiä pyritään arvioimaan mittausten avulla. Patenttihakemuksessa *WO 9950719* "Verfahren und Anordnung zur neuronalen Modellierung einer Papierwickel Vorrichtung" on esitetty menetelmä jossa neuroverkkojen avulla tapahtuvan oppimisen kautta määritetään rainan rullaanmenokireys. Rullausmallien avulla tällöin voidaan laskea rullan sisäinen 2-ulotteinen jännitys jakauma. Patenttihakemuksessa *DE 19821318* "Verfahren zum Überwachen der Wickerhärte einer Wickelrolle" on esitetty rainan rullaanmenokireyden mittaamenetelmä, joka perustuu rainan pituusmuutoksen mittaamiseen rainaan tulostetuista värillisistä merkeistä.

10

Silmämääräisellä arvioinnilla tai kovuusmittarilla mitaten ei suurta osaa rullauksen aikana syntyneistä rullausvicioista voida havaita [David R. Roisum: "How to Measure Roll Quality", Tappi Journal 71(10) 1988, David R. Roisum: "Reading a roll", Tappi Journal 81(4) 1998]. Vaikka patenttihakemusten *WO 9950719* ja *DE 19821318* mukaisella menettelyllä voitaisiinkin laskea rullien 2-ulotteinen jännitys jakauma ei potentiaalista tai aktuaalista rullausvaurion syntymistä voida useimmissa tapauksissa estää, sillä edellä mainituissa menetelmissä ei huomioida sellaisia vaurion aiheuttajia, jotka johtuvat rullaan kohdistuvista kuormista paperitehtaan leikkurissa (rullaimessa) sekä paperitehtaan asiakkaan jälkikäsittelylaitteessa.

20

Kuitenkin paperin valmistajan kannalta tärkein ja vakavin laatupalaute rullien laadusta tulee paperitehtaiden asiakkailta, kuten painotaloilta, esimerkiksi silloin kun rullien ajettavuudessa on esiintynyt ongelmia esim. painokoneessa. Tällöin korjaavat toimenpiteet paperin valmistusprosessissa tai leikkurin rullausresepteissä voidaan tehdä vasta useiden päivien tai jopa viikkojen viiveellä. Jos paperin ominaisuuksissa (massa, pintaominaisuudet) tapahtuvat vaihtelut esiintyvät suuremmalla frekvenssillä ei korjaustoimenpiteiden tekeminen ole mielekäästä.

25

Uusia leikkureita käynnistettäessä tai aloitettaessa uusien paperilajien kiinnirullaus jo käytössä olevilla leikkureilla rullausreseptien hakeminen on siten usein hidasta johtuen edellä mainitusta laatupalauteviiveestä.

- 5 Erityisen ongelmallista rullausreseptien rullausparametrien valinnassa on se, että useimmat viat eivät ole visuaalisen tarkastelun perusteella havaittavissa eivätkä aina ilmene pintatiheys- tai vastaavien mittausten perusteella ja kuten edellä selostettu varsinaisen laatupalautteen saaminen on hidasta.
- 10 Keksinnön päämääränä on saada aikaan menetelmä, jonka välityksellä rullausparametrit ovat määritettävissä siten, että rulla kestää sekä paperitehtaalla että asiakkaalla tapahtuvan käsittelyn.

- Keksinnön päämääränä on luoda menetelmä, jota käytettäessä edellä kuvatut ongelmat eliminoiduvat tai ainakin minimoituvat.
- 15

Keksinnön erityisenä päämääränä on saada aikaan ohjausmenetelmä kiinnirullaimen ohjaamiseksi, joka ottaa huomioon myös rullaan kohdistuvat kuormat kiinnirullaimessa ja paperitehtaan asiakkaan laitteissa.

20

Edellä esitettyjen ja myöhemmin esille tulevien päämäärien saavuttamiseksi on keksinnön mukaiselle menetelmälle pääasiallisesti tunnusomaista se, mitä on esitetty patenttivaatimuksen 1 tunnusmerkkiosassa.

- 25 Keksinnön eräänä olennaisena etuna on, että keksintö perustuu siihen, että saavutettu rulla kestää koko elinkaarensa loppuun asti vaurioitumatta, kun taas tekniikan tasosta tunnetut mallit ja järjestelmät pyrkivät siihen, että rullaimella aikaansaadaan rullauksen kannalta optimaalinen rulla.

Keksinnön mukaisessa menetelmässä kiinnirullaimen ohjaamiseksi, jossa laaditaan rullausresepti, joka sisältää rullausparametrit, laskennallisten ja/tai kokeellisten mallien perusteella määritetään rullaimen ajoparametrit ennen ajoa siten, että mallien perusteella rulla kestää vaurioitumatta loppukäyttölaitteessa tapahtuvan kiinnirullauksen. Edullisen lisäpiirteen mukaisesti keksinnön mukaisessa menetelmässä rullaimen ajoparametrit määritetään siten, että mallien perusteella rulla kestää kiinnirullaimessa tapahtuvan kiinnirullauksen. Edelleen erään edullisen lisäpiirteen mukaisesti keksinnön mukaisessa menetelmässä rullan rullausresepti laaditaan halkaisijan tai säteen tai kumuloituvan paperin paksuuden määrän rullausytimellä tai rullatun rainapituuden tai rullatun rainan kierrosmäärän funktiona.

Keksinnön erään edullisen sovelluksen mukaisesti mitataan rullien sisäinen jännitysjakauma, lasketaan kuormitusmallilla rullauksen aikana rullaan kohdistuvat voimat sekä arvioidaan kuljetuksen aikana tapahtuva rullan sisäisten jännitysten relaksaatio mallin avulla sekä lasketaan kuormitusmallilla paperitehtaan asiakkaan jälkikäsittelylaitteissa rullaan kohdistuvat voimat.

Keksinnön mukaisen menetelmän edullisen sovelluksen mukaisesti:

- a) kiinnirullattavan rullan sisäinen jännitysjakauma mitataan epäsuorasti 3- tai 2-ulotteisena
- b) rullauksen aikana rullaan kohdistuvien voimien synnyttämät sisäiset jännitykset lasketaan rullan kuormitusmallilla [Kilwa Ärölä: "Simulointiohjelma hyperelastista vierintäkontaktimallia varten" DI-työ TKK 2001.]
- c) valmiin rullan sisäisten jännitysten relaksaatio ennenkuin rulla käsitellään paperitehtaan asiakkaan jälkikäsittelylaitteessa (esim. painokone) arvioidaan sekä
- d) lasketaan rullan ja aukirullauslaitteen kuormitusmallilla (RAMA) aukirullauksen aikana rullaan kohdistuvat jännitykset ja siirtymät.

Keksinnön mukaisessa menetelmässä tarvittavat paperin materiaalitiedot osittain saadaan leikkuria edeltävien paperinprosessointilaitteiden off- ja on-line mittauksista sekä osittain leikkurin omista mittauksista (esim. radiaalinen ja tangentialinen kimmodu-  
li).

5

Keksinnön mukaisessa menetelmässä rullausresepti edullisen sovelluksen mukaisesti haetaan siten, että WOT-mallilla (WOT = Wound-On-Tension eli pintakerroksen kireys rainarullassa, josta jossain yhteyksissä käytetään myös lyhennettä WIT = Wound-In-Tension) [M. Jorkama: "Contact Mechanical Model for Winding Nip".  
10 Väitöskirja TKK, 2001], rullan rakennemallilla sekä rullan relaksaatiomallilla lasket-  
tu rullan jännitys jakauma tuottaa RAMA (= loppukäyttölaitteen kuormitusmalli) mal-  
lin mukaan vauriottoman aukirullauksen jälkikäsitteilykoneella. Reunaehtoina rullaus-  
reseptin haussa ovat rullauslaitteen fysikaaliset ominaisuudet, vaurioton rullaus sekä  
ajettavuus leikkurilla, jotka arvioidaan kiinnirullaimen kuormitusmallilla. Leikkurin  
15 ajon aikana reseptiä takaisinkytketään WOT-mittauksen perusteella siten, että rullaan  
syntyy edellisen askeleen mukainen jännitys jakauma.

Rullanrakenteen mittausmenetelmässä voidaan käyttää esimerkiksi laser-nopeus-  
antureilla mitatun rainan pituusmuutoksen kautta arvoitua WOT:ia. Rullan rakenne  
20 lasketaan tällöin Hakielin mallilla [Z. Hakiel: "Nonlinear Model for Wound Roll  
Stress". Tappi Journal 70(5) 1987] tai vastaavalla [Zabaras N., Liu S., Koppuzha J.  
and Donaldson E. " A Hypoelastic Model for Computing the Stresses in Center-  
Wound Rolls of Magnetic Tape" Journal of Applied Mechanics, Vol 61 No. 2, pp.  
290-295, 1994]. Myös rullan tiheyttä, paperin paksuutta ja rullausmallia hyväksikäyt-  
25 tävää menetelmää voidaan käyttää [David R. Roisum: "The Measurement of Web  
Stresses During Roll Winding". Väitöskirja WHRC at OSU 1990].

Leikkurin kiinnirullaimen ja jälkikäsitteilykoneen rakennemalleissa lasketaan rullan  
sisällä syntyviä luistoja sekä mahdollisesti myös muita vauriomekanismeja. Laskettu-

jen luistojen avulla rullan vauriopotentiaali arvioidaan käyttäen kokemuseräistä tietoa sekä rullien vauriomalleja [N. Vaidyanathan and J.K. Good: "The Importance of Torque Capacity in Predicting Crepe Wrinkles and Starring within Wound Rolls". Proceedings of the 3<sup>rd</sup> IWEB conference. OSU 1995, Lee, Ban-Eop: "Buckling Analysis of Starred Roll Defects in Center Wound Rolls". Väitöskirja WHRC at OSU 1991 .]

Valmiin rullan jännitysten relaxoitumisen arvioinnissa käytetään tunnettuja viskoelastisia rullausmalleja, kuten viitettä [W. R. Qualls and J.K. Good: "A Nonlinear Orthotropic Viscoelastic Winding Model". Proceedings of the 3<sup>rd</sup> IWEB conference. OSU 1995 ].

Keksinnön mukainen menetelmä tuo "älyn" rullaukseen eli aikaisemmin useita päiviä tai viikkoja kestänyt takaisinkytkentä rullan laadun ja rullausparametrien välillä voidaan tehdä leikkurin ajon aikana. Paperin ominaisuuksissa ja paperitehtaan tuotantolosuhteissa tapahtuneisiin muutoksiin reagointi tapahtuu automaattisesti ja välittömästi.

Keksinnön mukaisella menetelmällä voidaan määrittää nopeasti optimaaliset rullausreseptit uusia leikkureita käynnistettäessä tai aloitettaessa uusien paperilajien kiinnirullaus jo käytössä olevilla leikkureilla.

Keksinnön mukainen menetelmä mahdollistaa rullausasemien optimaalisen individualisen ohjauksen, joka vähentää myös laatuvariaatiota saman muuton rullien välillä.

Yhteenvedon omaisesti kuvattuna keksinnön mukaisessa menetelmässä kiinnirullaimen ohjaus perustuu mallin avulla tehtävään rullan loppukäytön ajettavuusennusteseen, jossa edullisen sovelluksen mukaisesti ennen ajoa mallia iteroimalla määritetään

- sellainen WOT vs. halkaisija referenssikäyrä, joka tuottaa optimaalisen ajettavuuden loppukäytössä jälkikäsitteilykoneella. Keksinnön edullisten piirteiden mukaisesti leikkurin kiinnirullaimen ajoparametrejä säädetään siten, että mitattu WOT käyrä vastaa mallia iteroimalla saatua WOT referenssikäyrää. Kiinnirullausmallin avulla aikaan-
- 5 saatavan ajettavuusennusteen perusteella voidaan myös muuttaa WOT referenssikäyrää. Ajettavuusennusteen laatimisessa käytetään edullisesti hyväksi rullan jännitysten relaksaatiomallia ja alkuestimaatti ajoparametreille lasketaan sopivimmin rulla-
- lausnippimallista.
- 10 Seuraavassa keksintöä on yksityiskohtaisemmin kuvattu oheisen piirustuksen kuvioihin viitaten, joiden yksityiskohtiin keksintöä ei ole tarkoitus mitenkään ahtaasti rajoittaa.
- Kuviossa 1 on esitetty kaaviollisesti keksinnön mukaisen menetelmän peruseriaate.
- 15 Kuvioissa 2 on esitetty kaaviollisesti keksinnön mukaisessa menetelmässä käytettävää WOT-käyrän valintamenettelyä esimerkin avulla.
- Kuviossa 3 on esitetty kaaviollisesti esimerkki keksinnön mukaisessa menetelmässä
- 20 rullausreseptin alkuarvon hakemiseksi.
- Kuviossa 4 on esitetty kaaviollisesti kuvion 1 osaprosessi ajettaessa leikkuria, kun leikkurissa on WOT-mittaus.
- 25 Kuviossa 1 on esitetty keksinnön mukaisen menetelmän erään sovelluksen peruseriaate. Lähtötietoina 11 tarvitaan perustiedot rullattavasta paperista, kuten paksuus, kitkakerroin, paksuus- ja konesuunnan elastiset modulit, tiedot paperin viskoelastisista ominaisuuksista, ilman läpäisevyys ja pinnan karheus jne., kiinnirullauslaitteen mekaaniset tiedot sekä myös mekaaniset tiedot rullan loppukäyttölaitteesta tai siitä



aukirullauslaitteesta, jossa aukirullaus tulee tapahtumaan. I-vaiheessa valitaan sopiva WOT-käyrä 12. Kuvion 2 selityskohdassa palataan tarkemmin tähän valintaprosessiin. Jotta tätä WOT-käyrää  $WOT_{ref}(D)$  ( $D$  = rullan halkaisija) voitaisiin hyödyntää on kiinnirullaimessa oltava menetelmä arvioida WOT esimerkiksi laskennallisesti tai mittaamalla. Seuraavassa II-vaiheessa valitaan sellainen rullausresepti 13  $R_{ref}(D)$ , jolla leikkurin kiinnirullausmallin, III-vaihe, mukaisesti syntyy I-vaiheen mukainen WOT-käyrä 12  $WOT_{ref}(D)$ . Tämän jälkeen IV-vaiheessa tarkistetaan vielä kiinnirullauslaitteen kuormitusmallilla, että kiinnirullattavat rullat kestävät kiinnirullauksessa syntyvät kuormitukset 19. Jos kiinnirullausmalli osoittaa, että rullat kestävät, silloin voidaan prosessia jatkaa eli siirrytään V-vaiheeseen, muutoin generoidaan uusi resepti eli palataan II-vaiheeseen  $R_{ref}(D)$ , joka uusi resepti laskennallisesti tuottaa valitun WOT-käyrän 12  $WOT_{ref}(D)$ , ja käydään III- ja IV-vaiheet uudelleen läpi. Jos iterointia tarvitsee vielä tämän jälkeen jatkaa, voidaan uusi resepti generoida esimerkiksi ns. sekanttimenetelmällä [Erwin Kreyszig: "Advanced Engineering Mathematics". Sixth Edition, John Wiley & Sons, Inc. 1988, sivu 956], jolloin kahden peräkkäisen iteraation resepteistä muodostetaan gradientin aproksimaatio rullausparametriavaruudessa, esimerkiksi rullan maksimijännitysten ollessa minimoitava kohdefunktio. Minimointitehtävän rajoite-ehdona on se, että rullausresepti tuottaa I-vaiheessa laskennallisesti valitun WOT-käyrän 12. Oletetaan yksinkertaisuuden vuoksi, että edelläkuvatuulla tavalla iteroimalla löydetään rullausresepti, joka laskennan perusteella a) kestää kiinnirullauksen ja b) antaa valitun WOT-käyrän. Jos ei tällaista reseptiä löytyisi, pitäisi vielä palata I-vaiheeseen ja hakea uusi WOT-käyrä  $WOT_{ref}(D)$  jne. Kuten sanottu, tässä oletetaan, että sovelias resepti on löytynyt ja leikkurin ajo 16 voidaan aloittaa eli siirtyä V-vaiheeseen. Jos rullaimessa tai leikkurissa ei ole toteutettu WOT-mittausta, ajetaan leikkuria V-vaiheessa reseptillä  $R_{ref}$  13 sitä ajon aikana muuttamatta. Jos rullaimella tai leikkurilla on WOT-mittaus, menettely on seuraava: Ajon aikana tätä edellisessä vaiheessa valittua reseptiä  $R_{ref}$  korjataan siten, että I-vaiheen mukainen WOT-käyrä 12  $WOT_{ref}(D)$  toteutuu. Reseptin 13 korjaaminen tapahtuu esimerkiksi ensisijaisesti rullausvoimaa, toissijaisesti nippikuormaa ja viimeiseksi kireyttä säätä-

- mällä. Kunkin rullausparametrin kasvattaminen kasvattaa WOT:ia. Sääto voidaan toteuttaa esimerkiksi yksinkertaisena PID säätäjänä [K. Åström & T Hägglund: "PID Controllers: Theory, Design, and Tuning". 2nd edition, 1995. Sivut 59-119]. Jos seuraavassa ajossa paperilaji ja lähtötiedot pysyvät olennaisesti samoina, voidaan toteutunut VI-vaiheen mukainen rullausresepti 17 ottaa suoraan seuraavan ajon II-vaiheen rullausreseptiksi 13. Edellä peruseriaate on esitetty vain yksinkertaisen esimerkin valossa. Lisätarkistuksia ja mittauksia voidaan vielä lisätä tähän perusrunkoon. Esimerkiksi IV-vaiheen jälkeen voidaan vielä laskea toteutuneella reseptillä 17 leikkurin kiinnirullausmalli mahdollisten rullausvikojen tarkistamiseksi. Lopputulos tarkistetaan ennen seuraavaa ajoa. Jos laskenta osoitti rullien kestävän, ei lisätoimenpiteisiin ole tarvetta. Jos taas laskenta osoitti, että vauriotodennäköisyys on suuri, on ryhdyttävä iteroimaan sopivaa WOT-käyrää 12 tai asetettava lisärajoituksia rullausparametreille.
- 15 Kuviossa 2 on tarkemmin selvitetty WOT-käyrän 12 valintamenettelyä esimerkin avulla. Peruseriaate WOT-käyrän 12 valinnalle on se, että johonkin argumenttiin nojaten kyseinen WOT-käyrä 12 tuottaa vauriottoman aukirullauksen rullan loppukäyttölaitteessa. Argumenttina voidaan käyttää mm. laskentamallia RAMA IIC-vaihe, kuten tässä esimerkissä, tai tilastollista mallia tai dataa tai näiden yhdistelmää. Menet-
- 20 tely alkaa siitä, että I-vaiheessa valitaan alkuarvaus WOT-käyräksi  $WOT_0(D)$  eli suoritetaan iteraation alustus 22  $WOT_1 = WOT_0(D)$ , jossa  $D$  = rullan halkaisija. Tämä voi olla esimerkiksi halkaisijasta riippumaton vakio, missä vakion arvo voi olla 15-20 % rainan vetolujuudesta. Tämän jälkeen II-vaiheessa lasketaan rullausmallilla IIA-vaihe, kuten esimerkiksi Hakielin tai von Hertzenin rullausmallilla, rullan jännitys-
- 25 kautuma heti rullauksen jälkeen. Käyttäen tätä tulosta alkuarvona, arvioidaan seuraavaksi jännitysten relaksoitumista IIB-vaihe sillä aikavälillä, joka kuluu ennen kuin rulla aukirullataan loppukäyttölaitteessa. Seuraavassa III-vaiheessa käytetään puolestaan, edellisessä II-vaiheessa, relaksoitumismallista saatuja jännityksiä alkuarvoina ja arvioidaan rullan kestävyys tai ajettavuus 24 loppukäyttölaitteen aukirullauksessa.

Arviointi voi perustua, kuten tässä esimerkissä, IIc-vaiheen laskentamalliin. Myös tilastollisia ja empiirisiä tuloksia tai näiden yhdistelmiä voidaan käyttää. Jos arvioinnin perusteella rulla kestää, on tämä WOT-käyrän 26 valintaprosessi valmis, IV-vaihe. Jos arvioinnin perusteella rulla ei kestä, on palattava I-vaiheeseen ja valittava uusi WOT-käyrä kandidaatti  $WOT_1(D)$  22. Tämä voi olla esimerkiksi jälleen halkaisijasta riippumaton vakio, jonka arvo on vaikkapa 98 % tai 102 %  $WOT_0(D)$ :stä. Jos tämä uusi WOT-käyrä läpäisee III-vaiheen on WOT-käyrän valintaprosessi valmis IV-vaihe. Jos  $WOT_1(D)$  26 ei myöskään toteuta III-vaihetta, on iterointia jatkettava edelleen 25. Uusi WOT-käyräehdokaas voidaan muodostaa kahdesta edellisestä esimerkiksi sekanttimenetelmän variaatiota käyttäen [Erwin Kreyszig: "Advanced Engineering Mathematics". Sixth Edition, John Wiley & Sons, Inc. 1988, sivu 956]. Tällöin voidaan esimerkiksi minimoida RAMA, vaihe IIc, laskennassa jännitysmaksimia mm. jatkuvien funktioiden muodostamassa normiavaruudessa. Tässä, tämän menettelyn selostuksessa, oletetaan, että WOT-käyrän hakuprosessi tuottaa käyrän  $WOT_{ref}(D)$  26, joka IIa-, IIb- ja IIc-vaiheiden jälkeen toteuttaa III-vaiheen, vaikka periaatteessa voisi olla mahdollista mm. se, että jossain kohti WOT:n arvo ylittäisi rainan vetolujuuden, jolloin kelvollista ratkaisua ei löytyisi.

Kuviossa 3 on esitetty esimerkki rullausreseptin alkuarvon 13 hakemiseksi. I-vaiheessa suoritetaan iteraation alustus  $R_j = (N, F, T)_j = R_0(D) = (N_0, F_0, T_0)(D)$ , jossa  $(N_0, F_0, T_0)(D)$  pitää olla toteutettavissa ja  $R_j$  = rullausresepti,  $N$  = nippikuormat,  $F$  = rullausvoima ja  $T$  = ratakireys. Tavoitteena on hakea rullausresepti  $R(D) = (N(D), F(D), T(D))$  32 siten, että kiinnirullaimen WOT-mallilla (ks. Jorkama väitöstyö, tai empiirinen malli) laskettuna rullausresepti tuottaa kuvion 1 I-vaiheessa valitun WOT-käyrän 12. Edellä  $N(D)$  on nippikuorma(t) halkaisijan  $D$  funktiona,  $F(D)$  rullausvoima halkaisijan funktiona ja  $T(D)$  rainan kireys ennen kiinnirullainta halkaisijan funktiona. Merkitään tätä tämän osaprosessin lopputuloksena syntynyttä rullausreseptiä  $R_{ref}(D)$ :llä 36. Siis funktiomuodossa tavoitteena on löytää rullausresepti siten, että  $WOT_{ref}(D) = WOT_{model}(R_{ref}(D), D)$ , missä  $WOT_{model}$  funktio kuvaa

WOT-mallia. Menettely on samantapainen kuin muissakin sekanttimenetelmään perustuvissa iteraatioissa. Valitaan ensiksi alkuarvaus  $R_i = R_0$ , I-vaihe ja lasketaan, II-vaihe, WOT-mallilla 33  $WOT_i = WOT_{model}(R_i(D), D)$  WOT-käyrä  $WOT_i = WOT_0$ . Alkuarvauksena voidaan käyttää esimerkiksi seuraavia arvoja: Nippikuorma halkaisijasta riippumaton vakio niin pitkään kuin mahdollista, rullausvoima halkaisijasta riippumaton vakio esimerkiksi 75 % ratakiireydestä ja ratakiireys myös halkaisijasta riippumaton vakio, esimerkiksi 15-20 % rainan vetolujuudesta. Jos III-vaiheen tarkistuksessa  $WOT_0$  on valitun tarkkuusvaatimuksen perusteella tarpeeksi lähellä  $WOT_{ref}$ iä, voidaan siirtyä IV-vaiheeseen ja valita  $R_0$  leikkurin reseptiksi  $R_{ref}$  36. Jos taas  $WOT_0$  ei ole riittävällä tarkkuudella  $WOT_{ref}$ , jatketaan iterointia II-vaiheesta valitsemalla uusi rullausresepti  $R_1$  35. Tämä voidaan valita mm. siten, että valitaan ajokiireydeksi 98 % ja 102 %  $R_0$ :n ajokiireydestä. Jos tämä uusi resepti 35 läpäisee III-vaiheen, on rullausreseptin valintaprosessi valmis. Jos  $R_1$  ei myöskään toteuta III-vaihetta, on iterointia jatkettava edelleen. Uusi rullausreseptiehdokas voidaan muodostaa kahdesta edellisestä esimerkiksi sekanttimenetelmän variaatiota käyttäen. Tällöin voidaan esimerkiksi minimoida  $WOT_i(R_i(D), D)$  ja  $WOT_{ref}(D)$  välistä etäisyyttä jatkuvien vektoriarvoisten funktioiden muodostamassa normiavaruudessa. Etäisyysfunktiona voidaan käyttää esimerkiksi  $L^2$ -normista muodostettua metriikkaa. Rajoite-ehtona minimoinnissa on huomioitava rullauslaitteen mekaniikasta ja paperin lujuudesta seuraavat rajoitukset.

Kuviossa 4 tarkastellaan tarkemmin kuvion 1 V-vaihetta leikkurin ajo 16 siinä tapauksessa, jossa leikkurissa on WOT-mittaus. Lyhyesti sanottuna tässä prosessissa leikkuria ajetaan reseptillä  $R_{ref}$  42. Kuitenkin ajon aikana sitä korjaten siten, että mitattu WOT ja  $WOT_{ref}$  yhtyvät 45. Leikkuria ajettaessa mitataan jatkuvasti kiinnirullattavan rullan halkaisijaa sekä WOT:ia 44. WOT:n mittaus voidaan tehdä esimerkiksi viitteiden [Roism, D., "The Measurement of Web Stresses During Roll Winding" PhD thesis Web Handling Research Center at Oklahoma State University., May 1990] mukaisesti. Tietyin väliajoin (esimerkiksi 5 s) tarkistetaan onko mitattu WOT, jota

merkitään  $WOT_{\text{mittaus}}$ , sama tai asetetun toleranssin päässä  $WOT_{\text{ref}}$ :stä. Rullausreseptiä Rref.46 muutetaan ajon aikana jatkuvasti siten, että  $WOT_{\text{mittaus}}$  on sama tai asetetun toleranssin päässä  $WOT_{\text{ref}}$ :stä. Tämä säätö voidaan toteuttaa esimerkiksi PID-säätäjänä [K. Åström & T Hägglund: "PID Controllers: Theory, Design, and Tuning".  
 5 2nd edition, 1995. Sivut 59-119]. Reseptin korjaaminen tapahtuu esimerkiksi ensisijaisesti rullausvoimaa, toissijaisesti nippikuormaa ja viimeiseksi kireyttä säätämällä. Kunkin rullausparametrin kasvattaminen kasvattaa  $WOT$ :ia.

Keksintöä on edellä selostettu vain erääseen sen edulliseen sovellusesimerkkiin viitaten,  
 10 jonka yksityiskohtiin keksintöä ei ole kuitenkaan tarkoitus mitenkään ahtaasti rajoittaa.

Esimerkiksi keksintöä on edellä kuvattu sellaiseen esimerkkiin nojaten, jossa menetelmässä laaditaan rullan rullausresepti halkaisijan funktiona. Rullausresepti on mahdollista laatia myös säteen tai kumuloituvan paperin paksuuden määrän rullausytimellä tai rulla-  
 15 tun rainapituuden tai rullatun rainan kierrosmäärän funktiona.

## Patenttivaatimukset

1. Menetelmä kiinnirullaimen ohjaamiseksi, jossa menetelmässä laaditaan rullan rullausresepti (13), joka sisältää rullausparametrit, **tunnettu** siitä, että menetelmässä laskennallisten ja/tai kokeellisten mallien (23) perusteella määritetään rullaimen ajoparametrit ennen ajoa siten, että mallien (23) perusteella rulla kestää vaurioitumatta loppukäyttölaitteessa tapahtuvan aukirullauksen (24).  
5
2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että menetelmässä rullaimen ajoparametrit määritetään siten, että mallien (14) perusteella rulla kestää kiinnirullaimessa tapahtuvan kiinnirullauksen (15).  
10
3. Patenttivaatimuksen 1 tai 2 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että rullausresepti laaditaan halkaisijan tai säteen tai kumuloituvan paperin paksuuden määrän rullausytimellä tai rullatun rainapituuden tai rullatun rainan kierrosmäärän funktiona.  
15
4. Jonkin patenttivaatimuksen 1 - 3 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että menetelmässä lähtötietojen (11) perusteella valitaan WOT (Wound-On-Tension) -käyrä (12), jonka avulla laaditaan rullausresepti (13) siten, että resepti (13) tuottaa valitun WOT-käyrän mukaisen  $WOT_{ref}(D)$  -vertailukäyrän ja että aukirullausmallilla (23) tarkistetaan, että rullat kestävät loppukäytössä vaurioitumattomana (24).  
20
5. Jonkin patenttivaatimuksen 1 - 4 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että kiinnirullausmallilla (14) tarkistetaan, että rullat kestävät kiinnirullauksessa (15).  
25

6. Jonkin patenttivaatimuksen 1 – 5 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että menetelmässä WOT-käyrän (12) valitsemiseksi suoritetaan WOT-käyrän iteraation alustus (22) ja että lasketaan rullan jännitykset ja rullan relaksaatio sekä määritetään laskentamallin (23) perusteella vaurioituuko rulla loppukäytössä ja valitaan sellainen WOT-käyrä, jolla rulla kestää vaurioitumattomana loppukäytössä (24).  
5
7. Patenttivaatimuksen 1 - 6 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että menetelmässä rullausreseptin (13) valitsemiseksi suoritetaan iteraation alustus (32) WOT-mallin (33) perusteella ja varmistetaan, että valittu WOT-käyrä vastaa WOT-referenssikäyrää ja otetaan käyttöön valittu rullausresepti.  
10
8. Jonkin patenttivaatimuksen 1 - 7 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että ajettaessa rullainta ladataan valittu rullausresepti (42) käyttöön ja ajettaessa tarkkaillaan toteutuuko mitattu WOT-käyrä vastaten WOT-referenssikäyrää ja tarvittaessa korjataan valittua rullausreseptiä (46).  
15
9. Jonkin patenttivaatimuksen 1 - 8 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että menetelmässä mitataan rullien sisäinen jännitys jakauma (44) ja/tai lasketaan kuormitusmallilla (14) rullauksen aikana rullaan kohdistuvat voimat ja arvioidaan kuljetuksen aikana tapahtuva rullan sisäisten jännitysten relaksaatio mallin (23) avulla sekä lasketaan kuormitusmallilla (23) paperitehtaan asiakkaan jälkikäsittelylaitteessa rullaan kohdistuvat voimat, jolloin mallin (23) avulla aikaansaadaan rullan loppukäytön ajettavuusennuste ja määritetään rullausresepti (13) mallin (14, 23) perusteella, joka tuottaa vaurioitumattoman ajettavuuden loppukäytössä jälkikäsittelykoneella.  
20  
25
10. Jonkin patenttivaatimuksen 1 - 9 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että menetelmässä määritetään lähtötiedot (11), joiden perusteella laaditaan rul-

lausresepti (13), jota rullausreseptiä iteroidaan WOT (Wound-On-Tension) käyrää (12) iteroimalla, että lasketaan rullan jännitykset ja rullan jännitysten relaksaatio (23) sekä mallin (23) perusteella arvioidaan vaurioituuko rulla ja tarvittaessa generoidaan uusi WOT-käyrä (25) ja määritetään rullausresepti (13) WOT-mallia apuna käyttäen, jonka rullausreseptin (13) perusteella ohjataan rullainta (15).

11. Jonkin patenttivaatimuksen 1 - 10 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että rullaimen ajon aikana tarkkaillaan toteutuuko aikaansaatu WOT-käyrä (45) ja tarvittaessa korjataan rullausparametrejä (46) siten, että mitattu WOT-käyrä vastaa arvioitua WOT-käyrää.

12. Jonkin patenttivaatimuksen 1 – 11 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että rullausreseptin (13) iterointia jatketaan kussakin ajossa ja tarvittaessa määritetään uusi WOT-käyrä paperilajin vaihtuessa.

13. Jonkin patenttivaatimuksen 1 – 12 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että menetelmässä

- a) kiinnirullattavan rullan sisäinen jännitysjakauma (44) mitataan epäsuorasti 3- tai 2-ulotteisena
- b) rullauksen aikana rullaan kohdistuvien voimien synnyttämät sisäiset jännitykset lasketaan rullan kuormitusmallilla (14),
- c) valmiin rullan sisäisten jännitysten relaksaatio ennenkuin rulla käsitellään paperitehtaan asiakkaan jälkikäsittelylaitteessa arvioidaan (23) sekä
- d) lasketaan rullan ja aukirullauslaitteen kuormitusmallilla aukirullauksen aikana rullaan kohdistuvat jännitykset ja siirtymät (23).



14. Jonkin patenttivaatimuksen 1 – 13 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että menetelmässä paperilajin lähtötiedot (11) saadaan rullainta edeltävien paperin prosessointilaitteiden off- ja on-line-mittauksista ja leikkurin omista mittauksista.
- 5 15. Jonkin patenttivaatimuksen 1 – 14 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että rullausreseptin (13) reunaehdot määritetään rullauslaitteen fysikaalisten ominaisuuksien, sekä kuormitusmallin (14) avulla saatavien perustietojen avulla.
- 10 16. Jonkin patenttivaatimuksen 1 – 15 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että menetelmässä kiinnirullaimen ja jälkikäsitteilykoneen rakennemalleissa laske-  
taan rullan sisällä syntyviä luistoja ja/tai muita vauriomekanismeja.

(57) Tiivistelmä

Menetelmä kiinnirullaimen ohjaamiseksi, jossa menetelmässä laaditaan rullan rullausresepti (13), joka sisältää rullausparametrit. Menetelmässä laskennallisten ja/tai kokeellisten mallien perusteella määritetään rullaimen ajoparametrit ennen ajoa siten, että mallien perusteella rulla kestää vaurioitumatta loppukäyttölaitteessa tapahtuvan aukirullauksen.

FIG. 1

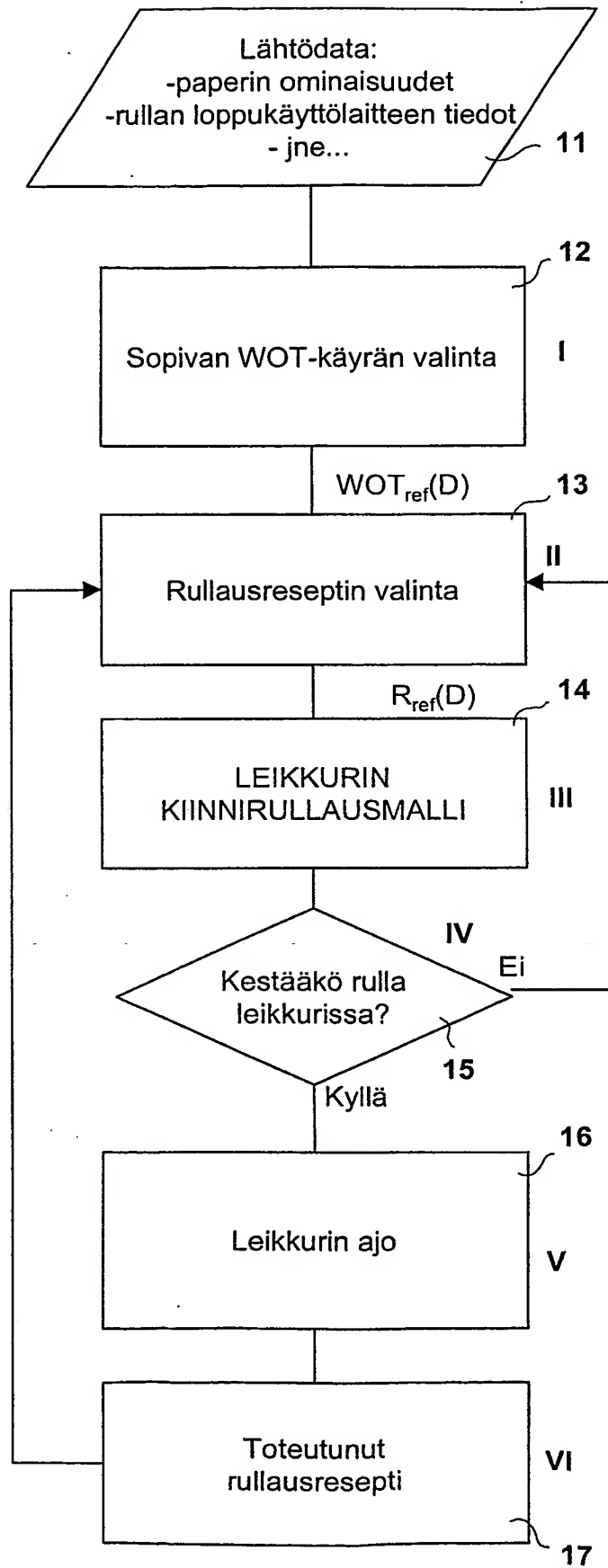
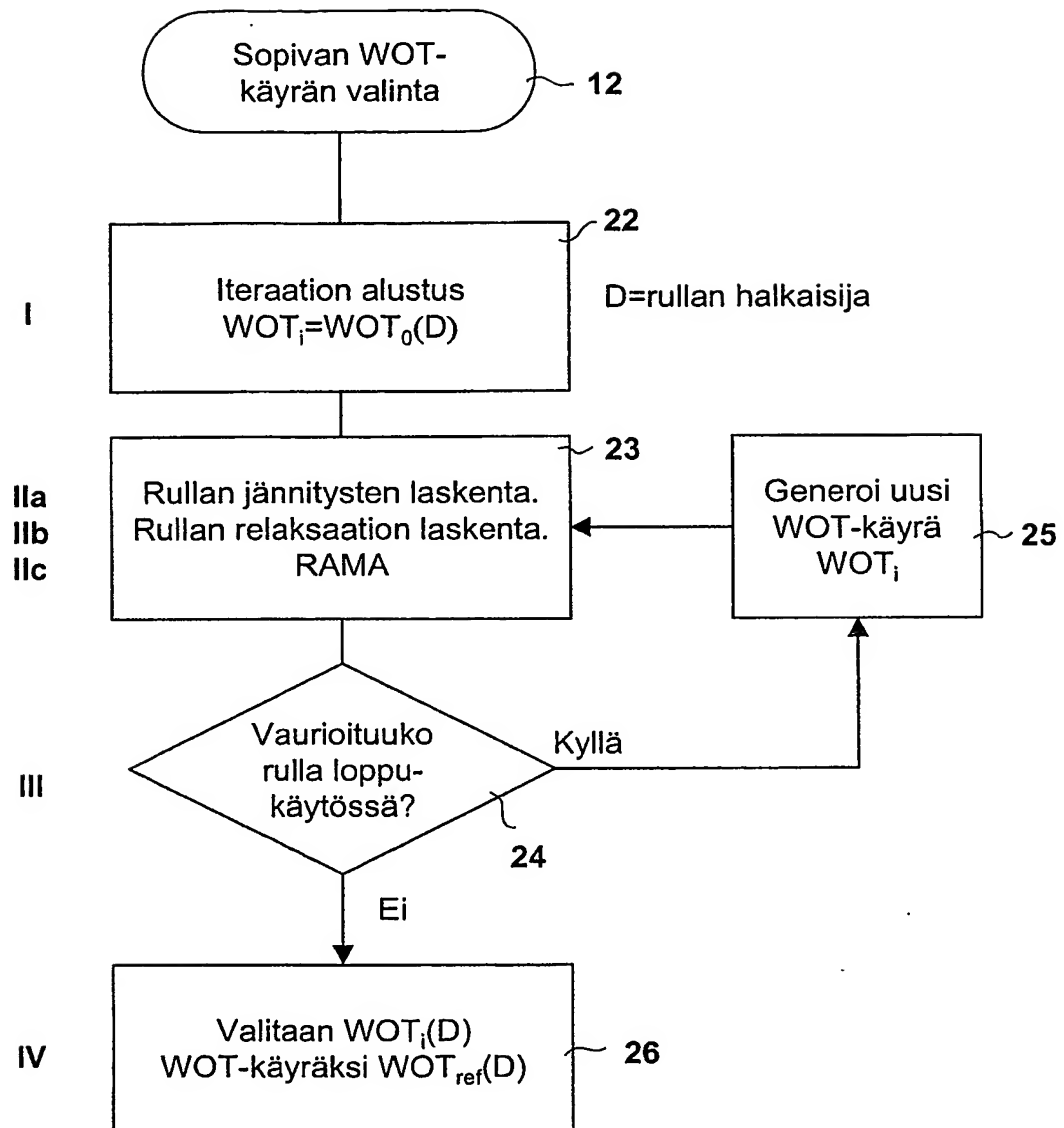


FIG.1



**FIG. 2**

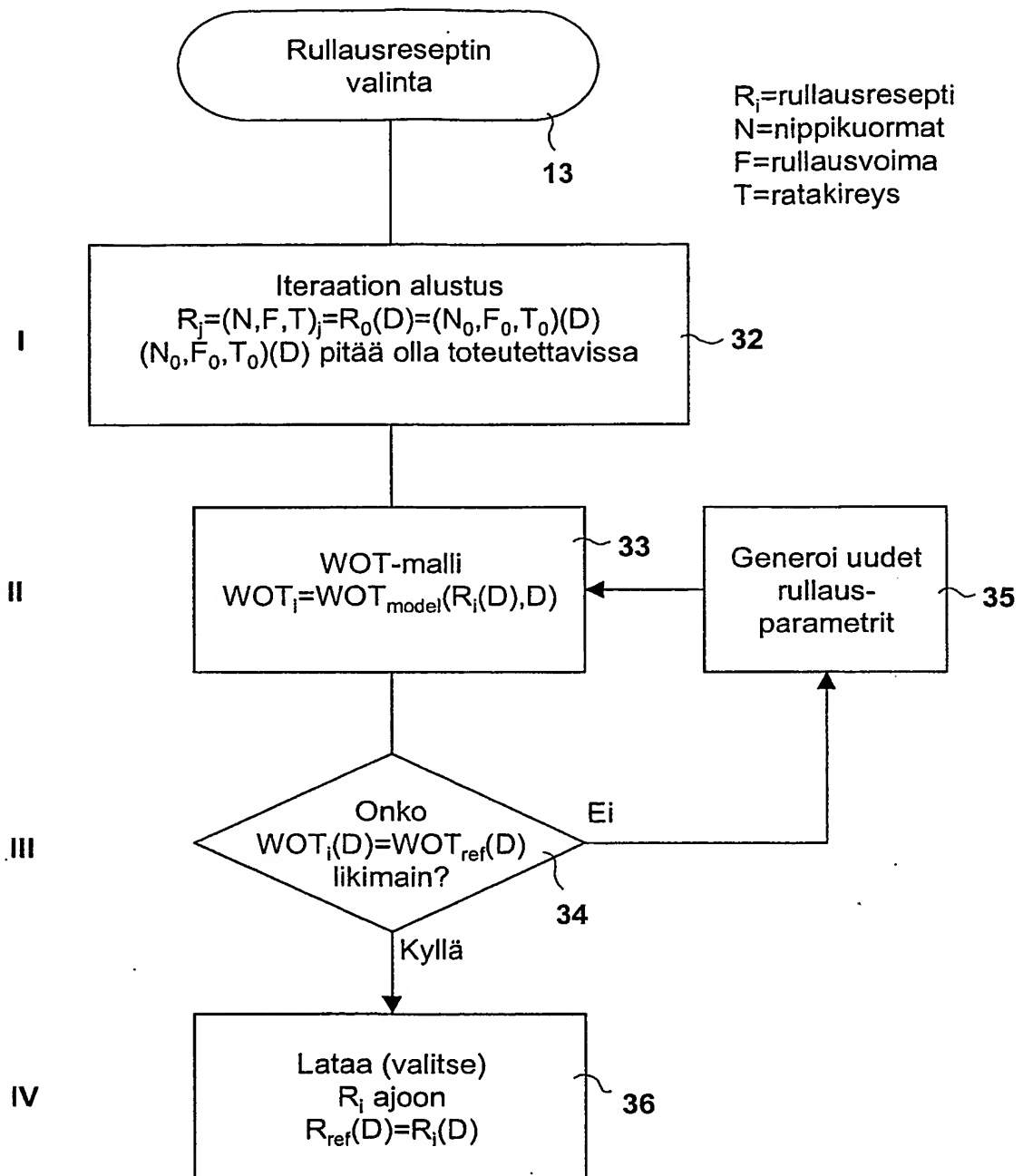


FIG. 3

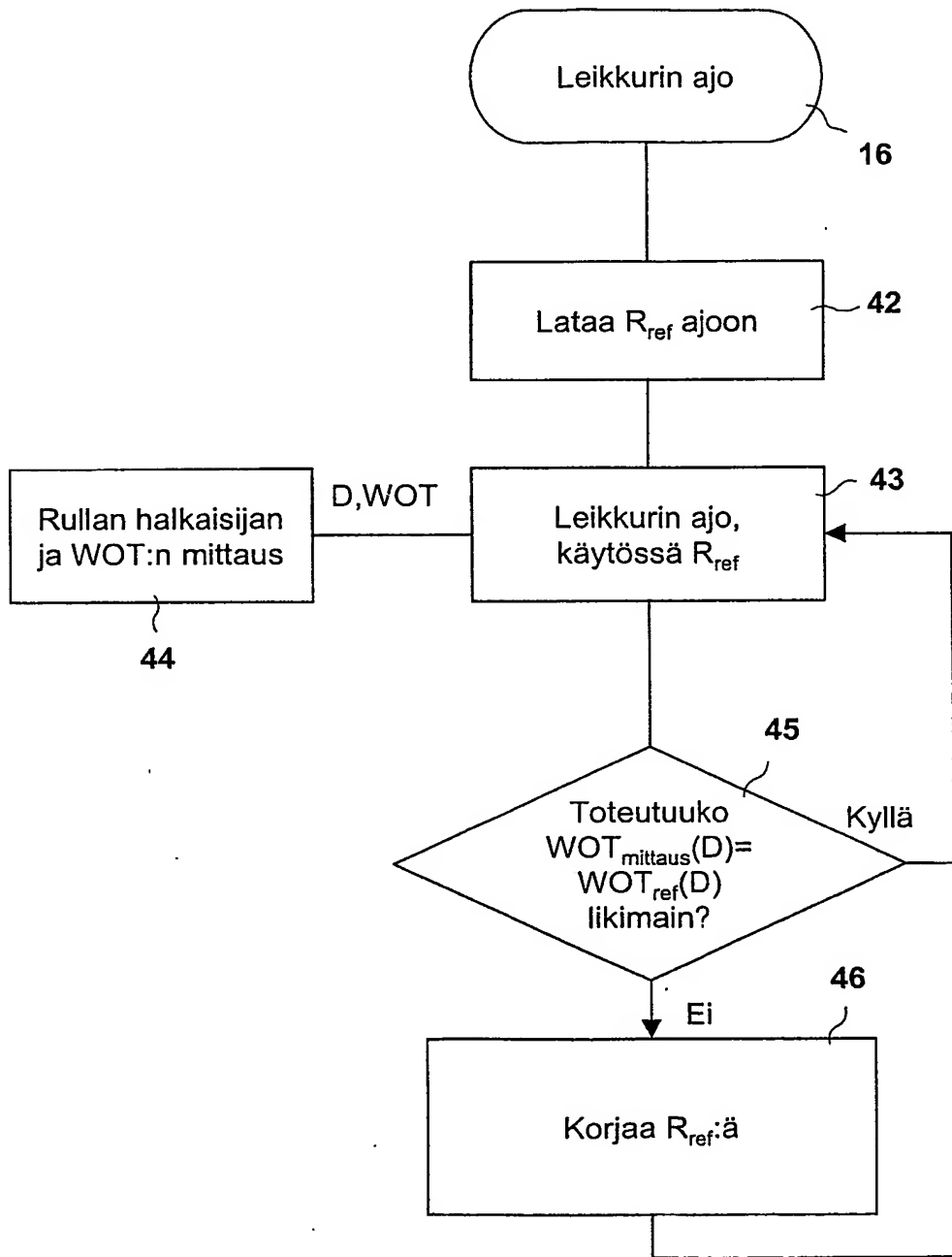


FIG.4